Fe. 11.5 (14) A

Ueber

Kohlensäureausscheidung

und

Sauerstoffaufnahme

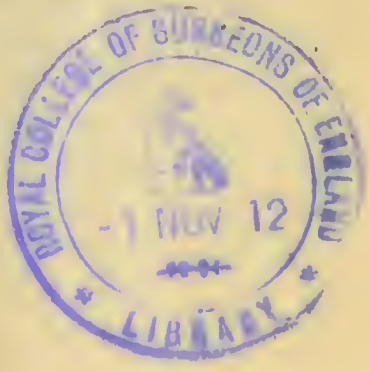
beim Menschen

von

Dr. Max v. Pettenkofer und **Dr. Karl Voit.**

Fortsetzung.

Vorgetragen in der Sitzung der mathematisch-physikalischen Classe der k. bayer. Akademie der Wissenschaften zu München am 9. Februar 1867 von Dr. M. v. Pettenkofer.



Akademische Buchdruckerei von F. Straub in München.

Die Fortsetzung der Versuche, über welche ich in der Sitzung vom 10. November 1866 berichtete, hat nicht nur die merkwürdige Thatsache, dass der menschliche Organismus beträchtliche Mengen Sauerstoff für längere Zeit aufzuspeichern vermöge, ehe er sie zur Bildung von Kohlensäure verwendet, bestätiget, die neuen und zahlreicheren Versuche haben den Kreis, innerhalb dessen diese unerwartete Thatsache in die Erscheinung tritt, wesentlich erweitert. Bei der Wiederaufnahme unserer Versuche im Dezember vorigen Jahres waren wir zunächst darauf bedacht, sie an derselben Person zu wiederholen. Der Mann M. M. war inzwischen ganz gesund geblieben, hatte um mehrere Pfund an Gewicht zugenommen, und sah noch blühender und kräftiger aus als vorher. Wir trennten die 24stündige Beobachtung wieder in zwei zwölfstündige Hälften. Da es aber eben Winter geworden war, begannen wir mit dem Versuche nicht Morgens 6 Uhr, sondern erst Morgens 8 Uhr. Wir untersuchten das Verhalten des Mannes bei Ruhe und Arbeit, bei verschiedener Kost und bei Hunger, und fügten aus Gründen, die später angegeben werden sollen, zuletzt auch noch einen Versuch mit einem anderen männlichen Individuum bei. In der folgenden Tabelle Nr. I sind die Resultate sämmtlicher Versuche zusammengestellt und zwar nach der verschiedenen Diät.

Betrachten wir zuerst das Gesammtresultat von 24 Stunden. Die ersten Versuche sind Hungerversuche, bei denen der Mann mit Ausnahme von Wasser und Luft gar keine Nahrung zu sich genommen und auch schon 12 Stunden vor ihrem Beginn nichts mehr genossen hatte. Bei den Versuchen I und III hungerte M. M. im Apparate ohne Arbeit, beim Versuche IV drehte er wieder das belastete Schwungrad, dessen ich schon in meiner ersten Mittheilung erwähnte. Dem Versuche III geht ein zwölfstündiger Nacht-Versuch voraus, der angestellt wurde, um auch ein Bild vom Uebergange in den Zustand des Fastens zu haben. Der Mann trat am 13. Dezember Abends 8 Uhr in den Apparat ein, nachdem er kurz zuvor sein gewöhnliches Nachtmahl verzehrt hatte, und schlief im Apparate anstatt in seinem gewöhnlichen Zimmer.

In den beiden Versuchen I und III erblicken wir den Stoffwechsel des hungernden und ruhenden Mannes I. Am 11. Dezember betragen die Ausscheidungen durchgehends etwas mehr, als am 14. Dezember. Im Hunger lebt der Mensch von seinem eigenen Körper, und es lässt sich aus den Ausscheidungen durch Lunge, Haut, Nieren und Darm ein Rückschluss auf den Verbrauch im Körper machen. Wir werden die Einzelheiten dieser Stoffwechselgleichungen in der Zeitschrift für Biologie veröffentlichen, sowohl für die Versuche bei Hunger als bei verschiedener Kost, denn ich halte es nicht für möglich, in einem Vortrage die vielen Zahlen in ihren verschiedenen Beziehungen zur Anschauung zu bringen und verweise desshalb auf ihr Erscheinen in der genannten Zeitschrift. Ich hebe hier nur einige allgemeine Gesichtspunkte hervor.

Der beim Hunger ausgeschiedene Stickstoff (Harn und Koth), die ausgeschiedene Kohlensäure und der aufgenommene Sauerstoff bieten uns die Möglichkeit, eine Rechnung darüber anzustellen, von welchen Substanzen seines Körpers der

Tabelle I zu pag. 3.

	Mann Nr. I.														Mann Nr. II.
	Hunger				Mittlere Kost					Eiweissreiche Kost		Stickstofflose Kost		Morgens u. Abends gleiche Kost	Mittlere Kost
Versuchs-Nummer	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
Zeit und Beschäftigung	11. Dez. 1866 Ruhe	13. Dez. 1866 Nacht vor III	14. Dez. 1866 Ruhe	22. Dez. 1866 Arbeit	31. Juli 1866 Ruhe	18. Dez. 1866 Ruhe	27. Dez. 1866 Ruhe	3. August 1866 Arbeit	29. Dez. 1866 Arbeit	2. Januar 1867 Ruhe	4. Januar 1867 Ruhe	7. Januar 1867 Ruhe	8. Januar 1867 Ruhe	19. Dez. 1866 Ruhe	30. Januar 1867 Ruhe
Kohlensäure	**Ausgeschiedene Kohlensäure:**														
Tag	427	—	379	930	533	539	527	885	828	580	596	508	522	481	396
Nacht	312	360	316	257	379	404	403	400	306	423	442	331	—	451	290
24 Stunden	738		695	1187	912	943	930	1285	1134	1003	1038	839		932	686
Wasser	**In der Respiration ausgeschiedenes Wasser:**														
Tag	444	—	463	1425	344	534	446	1095	1035	696	644	566	681	535	469
Nacht	385	428	351	352	484	475	511	947	377	414	563	359	—	536	427
24 Stunden	829		814	1777	828	1009	957	2042	1412	1110	1207	925		1071	896
Sauerstoff	**Aus der Luft aufgenommener Sauerstoff:**														
Tag	450	—	420	922	235	469	418	295	795	632	566	523	551	397	379
Nacht	330	339	323	150	474	450	449	660	211	218	310	285	—	453	215
24 Stunden	780		743	1072	709	919	867	955	1006	850	876	808		850	594
Harnstoff	**Ausgeschiedener Harnstoff:**														
Tag	15,9	—	14,4	11,9	21,5	17,8	19,2	20,1	18,9	23,2	31,3	16,5	13,7	18,5	20,0
Nacht	10,9	14,7	11,9	13,1	15,7	17,6	18,0	16,2	18,4	32,6	38,4	11,2	—	20,3	18,6
24 Stunden	26,8		26,3	25,0	37,2	35,4	37,2	36,3	37,3	55,8	69,7	27,7		38,8	38,6
Verhältnisszahl	**Auf 100 aus der Luft aufgenommenen Sauerstoff erscheint Sauerstoff in der Kohlensäure:**														
Tag	69	—	66	73	175	84	92	218	67	67	77	71	69	88	76
Nacht	69	77	71	124	58	65	65	44	106	141	104	84	—	72	101
24 Stunden	69		68	80	94	74	78	98	82	90	86	75		80	84

Hungernde wesentlich lebt. Da die stickstoffhaltigen Körpertheile erst der Oxydation unterliegen, nachdem sich der Stickstoff fast lediglich in der Form von Harnstoff abgetrennt hat, so lässt sich rechnen, wie viel von diesen nach Abzug von Harnstoff zur Verbrennung bleibt. Um was mehr Kohlenstoff in der Respiration in der Form von Kohlensäure austritt, als die der Zersetzung anheimgefallene stickstoffhaltige Substanz liefern kann, das muss von den stickstofffreien Substanzen des Körpers stammen. Da nun verschieden zusammengesetzte stickstoffhaltige Substanzen (z. B. Leim oder Eiweiss) auf diese Art verschiedene Mengen Sauerstoff zur Verbrennung brauchen, ebenso wie die verschiedenen stickstofflosen (z. B. Fett oder Zucker), so lässt sich die Frage stellen, mit welchen Stoffen die thatsächlich aufgenommene Sauerstoffmenge am nächsten stimmt. Da ergibt sich nun sehr genau, dass nur die Annahme gerechtfertigt erscheint, dass der Hungernde von Fleisch (Eiweiss) und von Fett seines Körpers zehrt. Nimmt man z. B. an, dass Leim oder Zucker den Kohlenstoff für die Respiration geliefert hätten, so stimmt die zur Verbrennung nöthige berechnete Sauerstoffmenge mit der wirklich aufgenommenen auf einige hundert Gramme nicht überein, während sie für Fleisch (Eiweiss) und Fett sehr genau stimmt.

Vergleicht man die in 24 Stunden gelieferten Mengen Kohlensäure sowohl beim Hunger als bei Nahrung, so lässt sich nicht verkennen, dass bei ein und demselben Menschen unter sonst gleichen Umständen die ausgeschiedene Kohlensäure beim Hunger kleiner ist, als bei Darreichung von Nahrung. Das war vorauszusehen, aber nach unsern Erfahrungen beim Hunde hatten wir einen viel grössern Unterschied erwartet. In der Ruhe zeigt der Mensch im Durchschnitt beim Hunger 717, bei mittlerer Kost 928, mithin eine Differenz von 211 Gramm Kohlensäure, was 57 Gramm Kohlenstoff in 24 Stunden entspricht. Die schon in der Ruhe

verhältnissmässig geringe Differenz wird bei der Arbeit noch viel unbedeutender. Versuch IV ist ein Arbeitsversuch bei Hunger, VIII und IX sind Arbeitsversuche bei mittlerer Kost; wir finden bei Hunger 1187, bei mittlerer Kost 1285 und 1134, also im Mittel 1209 Gramm, mithin nur eine Differenz von 22 Gramm Kohlensäure, was nur 6 Gramm Kohlenstoff in 24 Stunden entspricht.

Der gesunde und wohlgenährte Mensch hat mithin in sich selbst einen so beträchtlichen Speisevorrath aufgespeichert, dass er ein Fasten von 36 Stunden kaum spürt, und eine Zeit lang nahezu gleicher Anstrengung fähig ist, als wenn er seine gewöhnliche Nahrung zu sich nimmt. Diese Thatsache darf aber nicht dahin missverstanden werden, als ob der Mensch desshalb den Hunger besonders lang ertragen könnte, — im Gegentheil, eben weil der Mensch trotz Unterbrechung der Nahrungszufuhr reichlich von seinem Körper hergibt, müssen wir annehmen, dass der Vorrath schneller erschöpft sein wird. Der Hund, mit dem Voit seine zahlreichen Versuche ausführte, hat nach einer eiweissreichen Fütterungsreihe den Hunger 16 Tage ohne jeden Nachtheil ertragen, was einem gesunden Menschen wohl unmöglich sein würde.

Der Versuch XV wurde mit einem schlecht genährten, nur 54 Kilo schweren Manne, seines Handwerks ein Schneider, angestellt: er bekam dieselbe (mittlere) Kost, welche den 70 Kilo schweren Mann Nr. I auf seinem Gewichte erhielt. Trotz des für den Mann Nr. II reichlichen Mahles, das ihm ebenso wohl schmeckte, als es ihm auch gut bekam, vermochte der Schneider in 24 Stunden doch nicht sofort so viel Kohlensäure zu produciren, als der Andere schon beim Hunger.

Das Wasser, welches durch Haut und Lungen in 24 Stunden abgegeben wird, verhält sich seiner Menge nach ähnlich, wie die Kohlensäure: man sieht durchschnittlich

bei den Versuchen, wo mehr Kohlensäure erscheint, auch mehr Wasser in der Respiration auftreten. Bei Ruhe und Hunger ist das Mittel 822, bei mittlerer Kost 931, bei Arbeit und Hunger 1777, bei Arbeit und mittlerer Kost 1727 Gramm Wasser in 24 Stunden. Die Wasserabgabe zeigt also die Differenz zwischen Ruhe und Arbeit, bei Hunger und Kost in einem ganz ähnlichen Sinne, wie die Kohlensäure; auch beim Wasser ist die Differenz bei den Arbeitsversuchen viel geringer, als bei Ruhe. Individualität, Art der Arbeit, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft können übrigens hier wahrscheinlich sehr grosse Verschiedenheiten zum Vorschein bringen.

Im Ganzen ähnlich wie die Kohlensäure verhält sich auch der aufgenommene Sauerstoff: er beträgt im Mittel beim Hunger 761 in der Ruhe und 1072 bei der Arbeit, und bei mittlerer Kost 832 in der Ruhe und 980 Gramm bei der Arbeit. Unser Mann nahm während des Hungerns in der Ruhe um 70 Gramm weniger Sauerstoff auf, als bei mittlerer Kost; bei der Arbeit nahm er sogar im Hunger 90 Gramm mehr auf, als bei Arbeit und mittlerer Kost. Dieser grössern Sauerstoffaufnahme entspricht keine grössere Kohlensäureausscheidung, denn die Kohlensäuremengen sind sich, wie wir gesehen haben, bei der Arbeit sowohl im Hunger, als bei mittlerer Kost fast gleich. Diess erklärt sich aus dem Gehalte der mittlern Kost an Kohlehydraten, während beim Hunger der Mann nur von Fleisch und Fett seines Körpers lebt, in welchem Falle die Erzeugung einer gleichen Menge Kohlensäure eine viel grössere Sauerstoffmenge bedingt, als wenn die Kohlensäure aus Kohlehydraten stammt, die schon ursprünglich mehr Sauerstoff enthalten.

Der Versuch XV wurde gemacht, um zu sehen, wie auf einen schlecht genährten Mann Nr. II mit 54 Kilo Körpergewicht die Kost, welche den Mann Nr. I mit 70 Kilo auf dem Gewichte erhielt, binnen 24 Stunden wirkt. Mann II

konnte aber weder dieselbe Menge Sauerstoff aufnehmen, noch dieselbe Menge Kohlensäure abgeben. Die vom Manne I. bei mittlerer Kost und in der Ruhe aufgenommene Sauerstoffmenge beträgt im Mittel 832 Grmm., die vom Manne II. nur 594; die vom Manne I ausgeschiedene Kohlensäure 928, die vom Manne II 686. Die Sauerstoffaufnahme von I. verhält sich zu der von II wie 100:74; die Kohlensäureabgabe gleichfalls wie 100:74. Zu bemerken ist auch noch, dass der Mann II bei einer für ihn reichlichen Nahrung in 24 Stunden noch nicht so viel Kohlensäure ausschied und Sauerstoff aufnahm, als der besser genährte Mann II im Hungerzustande.

Was die Harnstoffausscheidung in 24 Stunden betrifft, so zeigen sich die Resultate, welche bereits durch die Arbeiten von Bischoff und Voit, theils von Voit allein und J. Ranke bekannt sind. Sehr präcis tritt die wichtige, zuerst von Voit begründete Thatsache hervor, dass die Arbeit (Muskelanstrengung) die Stickstoffausscheidung, überhaupt die Eiweisszersetzung nicht vermehrt, weder im Hunger, noch bei Nahrung. Die Hungerversuche ergeben bei Ruhe 26,8 und 26,3, bei Arbeit 25 Gramm Harnstoff, und die Versuche bei mittlerer Kost in der Ruhe 37,2, 35,4 und 37,2, bei Arbeit 36,3 und 37,3 Gramm Harnstoff. Diese wichtige, einst heftig bestrittene Thatsache wird neuerdings von Physiologen und Chemikern besprochen und gründlich benützt, ohne sich nur im geringsten mehr ihres Begründers zu erinnern. [1])

---

1) Fick und Wislicenus Ueber die Entstehung der Muskelkraft Vierteljahrsschrift der Zürich. naturf. Gesellschaft 1865. Bd. 10. S. 317.

E. A. Parkes Elimination of Nitrogen by the Kidneys. Proceedings of the royal Society. Vol. XV Nr. 89 p. 339.

Voit Eiweisszersetzung beim Hunger. Zeitschrift für Biologie Bd. II. S. 340.

Vergleicht man die 24stündigen Harnstoffzahlen mit den 24stündigen Kohlensäure- oder Sauerstoff-Zahlen, so tritt kein proportionales Verhältniss heraus. Es wäre aber gewiss ein Irrthum, sich dadurch zu dem Schlusse verleiten zu lassen, als wäre die Menge des Eiweisses im Körper gleichgiltig für die Sauerstoffaufnahme. Wir kommen hierauf bei Betrachtung der Resultate nach den 2 Tageshälften getrennt nochmal zu sprechen.

Was die Verhältnisszahlen anlangt, welche ausdrücken, wie viel von 100 aus der Luft aufgenommenem Sauerstoff in der ausgeschiedenen Kohlensäure enthalten ist, so sind namentlich die Zahlen der Hungerversuche von Interesse, in so ferne sie sehr genau mit den Zahlen übereinstimmen, welche früher Regnault nnd Reiset für hungernde Kaninchen und für hungernde, oder nur mit Fett gefütterte Hunde gefunden haben.[2]) Für hungernde Kaninchen fanden Regnault und Reiset in ihrem 21sten Versuch die Zahl 67, im 23sten 70, im 37sten Versuch bei einem hungernden Hunde 72 und im 38sten Versuch beim selben Hunde, nachdem er nach 60stündigem Hunger nur mit Fett gefüttert worden war, die Zahl 69. Der hungernde Mensch zeigt in der Ruhe die Zahl 69 und 68, bei Arbeit 74, im Mittel also 70. Diese Zahlen sind in so ferne merkwürdig, dass sie niedriger sind, als sie der Rechnung nach sein sollten, wenn man annimmt, dass im Hunger nur Fleisch und Fett des Körpers verbrennen. Bei Verbrennung von Fett allein sollte die Verhältnisszahl 72, bei Verbrennung von Fleisch allein 82 sein; sie sollte also, da das Mittel aus beiden Zahlen 77 ist, eigentlich mindestens immer höher als 72 sein, angenommen, dass nie mehr Sauerstoff auf-

---

2) Regnault und Reiset chemische Untersuchungen über die Respiration der Thiere. Annal. d. Chemie und Pharmacie Bd 74. S. 257.

genommen würde, als zur Verbrennung nothwendig ist. Bei Versuchen am Hunde, die wir noch nicht veröffentlicht haben, fanden Voit und ich am 6. Hungertage die Verhältnisszahl 74, am 10. Hungertage sogar 52. Die Resultate von Regnault und Reiset und von Voit und mir zeigen daher constant, dass der hungernde Organismus stets mehr Sauerstoff in sich aufnimmt, als zur Verbrennung von Fett und Eiweiss nothwendig wäre.

Von noch grösserem Interesse ist die Vergleichung der Versuche nach je zwei Hälften in Tag und Nacht getrennt. Da sich diess deutlicher in relativen als in absoluten Zahlen ausspricht, so wurden in der folgenden Tabelle Nr. II die in 24 Stunden ausgeschiedenen Mengen Kohlensäure, Wasser und Harnstoff, und die aufgenommene Menge Sauerstoff als 100 angenommen und berechnet, wie viel Procente davon auf den Tag, wie viel auf die Nacht kommen. Bruchtheile wurden nach der gewöhnlichen Regel auf ganze Zahlen abgeglichen. Die zwei halbtägigen Versuche II und XIII sind hier natürlich ausser Betracht geblieben.

(Tabelle Nr. II.)

Wir sehen am Tag bei Ruhe und Arbeit stets mehr Kohlensäure erscheinen, als bei Nacht, und zwar bleibt das relative Verhältniss zwischen Tag und Nacht in der Ruhe bei verschiedener Kost und bei Hunger, also bei sehr verschiedenen absoluten Mengen wesentlich gleich mit alleiniger Ausnahme der Versuche XII und XIV mit stickstoffloser Kost und mit gleicher Vertheilung der Kost auf zwei Hälften Morgens und Abends: die Zahlen für den Tag schwanken zwischen 55 und 58, für die Nacht zwischen 42 und 45.

Ein ganz anderer Rhythmus zwischen Tag und Nacht zeigt sich bei den drei Arbeitsversuchen IV, VIII und IX, wo die Zahl beim Hunger $\frac{78}{22}$ und bei mittlerer Kost $\frac{69}{31}$ und $\frac{73}{27}$ ist, wo also die Differenz zwischen Tag und Nacht mehr als

Tabelle II.

	Mann Nr. I.												Mann Nr. II.
	Hunger			Mittlere Kost					Eiweissreiche Kost		Stickstofflose Kost	Gleiche Kost Morgens und Abends	Mittlere Kost
	I 11.Dez. 1866 Ruhe	III 14.Dez. 1866 Ruhe	IV 22.Dez. 1866 Arbeit	V 31. Juli 1866 Ruhe	VI 18.Dez. 1866 Ruhe	VII 27.Dez. 1866 Ruhe	VIII 3. Aug. 1866 Arbeit	IX 29.Dez. 1866 Arbeit	X 2. Jan. 1867 Ruhe	XI 4. Jan. 1867 Ruhe	XII 7. Jan. 1867 Ruhe	XIV 19.Dez. 1866 Ruhe	XV 30.Jan. 1867 Ruhe
Von 100 ausgeschiedener Kohlensäure kommen auf Tag und Nacht:													
Kohlensäure-Procente bei Tag	58	55	78	58	57	57	69	73	58	58	61	52	57
„ Nacht	42	45	22	42	43	43	31	27	42	42	39	48	43
Von 100 in der Respiration ausgeschiedenem Wasser kommen auf Tag und Nacht:													
Wasser-Procente bei Tag	54	57	82	42	53	47	54	73	63	53	61	50	52
„ Nacht	46	43	18	58	47	53	46	27	37	47	39	50	48
Von 100 in der Respiration aufgenommenem Sauerstoff kommen auf Tag und Nacht:													
Sauerstoff-Procente bei Tag	58	57	86	33	51	48	31	79	74	65	65	47	64
„ Nacht	42	43	14	67	49	52	69	21	26	35	35	53	36
Von 100 ausgeschiedenem Harnstoff kommen auf Tag und Nacht:													
Harnstoff-Procente bei Tag	59	54	48	58	50	51	54	51	42	45	61	48	52
„ Nacht	41	46	52	42	50	49	46	49	58	55	39	52	48

dreifach grösser ist, als an den Ruhetagen. Man kann aus diesen Zahlen den hygienischen Werth körperlicher Uebungen erkennen. Unterschiede zwischen Arbeit und Ruhe, wie sie nach E. Smith, von Fick und Wislicenus angenommen werden, dass nämlich bei Arbeit gleich 10mal so viel Kohlensäure ausgeschieden werden könnte, als in der Ruhe, erscheinen mir nach unsern Erfahrungen ganz unwahrscheinlich.

Auffallend ist das Verhältniss bei Versuch XII mit stickstoffloser Kost. Die absoluten Mengen, die aus Tabelle Nr. I zu ersehen sind, erscheinen sowohl für den Tag als für die Nacht nicht grösser, sondern kleiner, als bei gewöhnlicher mittlerer Kost, aber das relative Verhältniss zeigt eine grössere Schwankung und nähert sich sehr dem Verhältniss bei Arbeit. Dieser Versuch hat überhaupt das höchst überraschende Resultat geliefert, dass das Verhältniss $\frac{61}{39}$ nicht nur bei der ausgeschiedenen Kohlensäure, sondern auch beim Wasser und beim Harnstoff genau dasselbe geblieben, ja auch beim Sauerstoff $\frac{65}{35}$ nicht viel verändert erschienen ist.

Eine kurze Erwähnung verdient auch noch der Versuch XIV mit gleichen Kosthälften Morgens und Abends. Wir wollten sehen, welchen Einfluss es auf die Vertheilung der Respirationsstoffe ausübt, wenn man nicht wie gewöhnlich in der ersten Hälfte des Versuchstags die ganze auf 24 Stunden treffende Nahrung zu sich nimmt und in der zweiten Hälfte fastet, sondern wenn man die Nahrung in zwei gleiche Hälften theilt, und die eine zu Anfang der ersten Hälfte und die andere zu Anfang der zweiten Hälfte des Versuches geniesst. Es wurde dazu eine stickstoffreichere Nahrung als die mittlere Kost benützt. Man sieht, dass man dadurch die Respirationsdifferenzen zwischen Tag und Nacht zwar

verringert, ohne sie aber mit Ausnahme der Wasserabgabe ganz zum Verschwinden zu bringen.

Bei allen diesen Versuchen am Gesunden tritt somit die in meinem Vortrage am 10. November bereits betonte Ungleichheit zwischen ihm und einem Kranken (Leukämiker) sehr deutlich hervor, bei welchem der Unterschied in der Kohlensäureausscheidung zwischen Tag und Nacht gänzlich mangelt, obschon er seine ganze Nahrung in den ersten 12 Stunden des Versuches genoss, und die folgenden 12 Stunden fastete und im Bette lag.

Das Wasser, welches in der Respiration bei Tag und Nacht ausgeschieden wird, gibt vorläufig nur zu wenigen Betrachtungen Anlass. Im Ganzen reiht es sich unverkennbar dem Rhythmus der Kohlensäureausscheidung an, doch erleidet es nicht selten grössere Störungen. Die grosse Rolle, welche die Wasserabgabe durch Haut und Lungen für unsere Gesundheit spielt, ist ein Ziel der Respirationsversuche, das mit Ausdauer verfolgt werden muss, bis zu dem wir aber noch eine weite Strecke zurückzulegen haben. Ein Verhältniss z. B. wie es bei Leukämie von uns gefunden worden ist, wo am Tage nur 29, in der Nacht hingegen 71 Procent Wasser abgegeben worden sind, ist beim Gesunden unter keinerlei Umständen auch nur annähernd beobachtet worden. Ich glaube, dass da mit der Zeit Versuche bei gewissen Krankheiten viel Aufschluss geben werden.

Vom höchsten Interesse sind die Zahlen für den Sauerstoff bei Tag und Nacht. Unsere ersten Versuche V und VIII im Sommer vorigen Jahres hatten eine sehr bedeutende Verschiebung in der Zeit der Sauerstoffaufnahme und der Entwicklung desselben als Kohlensäure ergeben, und zwar in dem Sinne, dass bei Nacht stets weniger Kohlensäure ausgeschieden und mehr Sauerstoff aufgenommen wurde als am Tage. Mit dieser Verschiebung der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe stimmten auch die Versuche von Saee

und Regnault über den Winterschlaf der Murmelthiere, ferner verschiedene Beobachtungen von Ludwig an Kaninchen und namentlich 22 Versuche von Henneberg an Wiederkäuern überein, so dass man glauben konnte, die Sauerstoffaufnahme sei mit der Kohlensäureabgabe constant in einer Art von zeitlichem Antagonismus zwischen Schlafen und Wachen. Die Fortsetzung der Versuche an Menschen hat in dieser Beziehung unsern Gesichtskreis erweitert und ganz unwiderleglich gezeigt, dass der Antagonismus, die Verschiebung thatsächlich besteht, dass sie aber nicht in diese engen Gränzen eingeschlossen ist, wie unsere ersten Versuche im Sommer am Menschen und die 22 Versuche von Henneberg an Rindern annehmen liessen. In den drei Hungerversuchen I, III und IV geht die Sauerstoffaufnahme nahezu parallel der Kohlensäureabgabe, sowohl bei Ruhe, als bei Arbeit; sowie aber die gewöhnliche Nahrung gereicht wird, so verschiebt sich das Verhältniss wieder. Die beiden Versuche im Winter mit mittlerer Kost und Ruhe (VI und VII) zeigten sofort wieder ein Verhältniss im Sinne der früheren Versuche V und VIII. Beim Versuche VI erschienen am Tag 57, bei Nacht 43 Procent Kohlensäure, während bei Tag nur 51 und bei Nacht 49 Procent Sauerstoff aufgenommen wurden. Beim Versuche VII blieb das Verhältnisss der Kohlensäureausscheidung zwischen Tag und Nacht genau dasselbe, wie im vorhergehenden $\left(\frac{57}{43}\right)$, aber umgekehrt wurden bei Tag nur 48, bei Nacht 52 Procent, also bei Nacht auch absolut mehr Sauerstoff, als am Tage aufgenommen. Im Versuche XIV, bei dem die eiweissreiche Nahrung gleichheitlich zu Anfang der beiden Tageshälften gereicht wurde, dreht sich das Verhältniss der Procentzahlen für Kohlensäure und Sauerstoff bei Tag und Nacht nahezu um, die Kohlensäure zeigt $\frac{52}{48}$ der Sauerstoff $\frac{47}{53}$.

Von grossem Interesse sind die Versuche X und XI mit sehr eiweissreicher Kost. Die Kohlensäure zeigt zwischen Tag und Nacht beidemale genau das Verhältniss, wie die Ruheversuche mit Hunger und mittlerer Kost, nämlich $\frac{58}{42}$, aber der Sauerstoff weicht sehr von diesem Verhältnisse ab und zeigt ähnlich den Arbeitsversuchen $\frac{74}{26}$ und $\frac{65}{35}$. Der Mann erhielt diese Kost das erstemal am 2. Januar, wo er im Respirationsapparate war; sie wurde ihm auch am 3. und 4. Januar gereicht, an welch letzterem Tage er sich wieder im Apparat aufhielt. An den Harnstoffzahlen (siehe Tabelle I) zeigt sich, dass er beim Versuche X sich noch nicht mit dem Eiweissgehalt seiner Nahrung im Gleichgewichte befand, was aber beim Versuche XI nahezu der Fall war, wo der Stickstoff in der Nahrung und der Stickstoff in Harn und Koth während 24 Stunden sich fast deeken. Aus diesen beiden Versuchen geht zur Evidenz hervor, dass die Kohlensäure der Nacht zum grossen Theil mit dem Sauerstoff gebildet war, der den Tag über aufgespeichert worden war. Im Versuche X kommen in der Nacht auf 423 Gramm Kohlensäure nur 218 Gramm aufgenommener Sauerstoff. Die Kohlensäure allein enthält bereits über 300 Gramm Sauerstoff, und um 423 Gramm Kohlensäure aus Fleisch und Fett, welche die Hauptbestandtheile der Nahrung bei diesem Versuche bildeten, zu erzeugen, sind mindestens 380 Gramm Sauerstoff nöthig.

Interessant ist noch der Versuch XV mit dem Manne Nr. II, auf den die Kost, die wir mittlere nennen, und welche den 70 Kilo schweren, kräftigen Mann Nr. I auf seinem Körpergewichte erhielt, verhältnissmässig ebenso wirken musste, wie die eiweissreiche Kost in den Versuchen X und XI auf den Mann Nr. I. Und wirklich rief sie auch beim Manne Nr. II eine bedeutende Steigerung, eine Aufspeicherung

von Sauerstoff bei Tag hervor. In den beiden Versuchen X und XV ergibt sich folgerichtig auch die kleinste Zahl für die Sauerstoffaufnahme während der Nacht, die überhaupt je vorkommt, nämlich 218 und 215 Gramm. Wenn man in Tabelle I die absoluten Mengen Kohlensäure und Sauerstoff in der Nacht bei diesen Versuchen vergleicht, so ergibt in beiden Fällen eine einfache Rechnung, dass der aufgenommene Sauerstoff bei weitem nicht hinreicht, um aus den Bestandtheilen der aufgenommenen Nahrung und des Körpers die wirklich beobachtete Kohlensäuremenge zu bilden: es ist nicht anders möglich, als dass ein Sauerstoffvorrath dazu verwendet worden ist.

Unser Organismus besitzt im Zustande der Gesundheit somit die Fähigkeit, nicht nur während der Nacht, sondern unter gewissen Bedingungen auch bei Tag einen Vorrath von Sauerstoff in sich zu sammeln und erst später zur Kohlensäurebildung zu verwenden. In den Fällen, wo er es am Tage zu thun vermag, fällt natürlich die Nothwendigkeit und selbst die Möglichkeit einer Aufspeicherung bei Nacht hinweg; denn es wird so gut bestimmte Sättigungsgrade für alle Organe geben, wie einer für das Blut besteht. Aufgabe fernerer Forschung ist es, alle Umstände zu ermitteln, welche auf den zeitlichen Rhythmus der Sauerstoffaufnahme von Einfluss sind: einstweilen begnügen wir uns, nachgewiesen zu haben, dass Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe bis zu einem gewissen Grade von einander unabhängig sind, dass die Aufnahme aus der Luft nicht, wie man bisher allgemein annahm, in der Zeit stets proportional der Abgabe sein müsse.

Warum bei den 22 Versuchen von Henneberg mit Ochsen die Zeit der Sauerstoffaufspeicherung so ausnahmslos auf die Nacht fiel, während sie beim Menschen mit eiweissreicher Kost auch am Tage eintritt, mag die Fortsetzung der Versuche in Weende und in München entscheiden: mir

scheint die Zeit des Ueberganges der verdauten Eiweisskörper in den Säftestrom massgebend zu sein. Durch die Frage, ob bei Tag oder Nacht, wird das Wesen unserer Entdeckung nicht im mindesten verändert und ihrer physiologischen und biologischen Bedeutung nicht das geringste benommen, obschon es manchem Laien einfacher, anziehender und fasslicher erschienen sein möchte, wenn die Aufspeicherung auch beim Menschen lediglich auf die Nacht beschränkt geblieben wäre. Die Tragweite der Thatsache hat durch das Resultat unserer weitern Versuche nur gewonnen.

Gestatten Sie mir nur noch einige Worte über die Versuche XII und XIII (Tabelle Nr. I) mit stickstoffloser Kost, die aus Fett und Kohlehydraten bestand. Die absoluten Mengen Kohlensäure, Wasser und Sauerstoff bewegen sich bei Versuch XII zwischen den Zahlen bei Hunger und mittlerer Kost; im Harnstoffe ist sie wie beim Hunger, was vorausgesehen werden konnte, insoferne stickstofflose Kost identisch mit Stickstoffhunger ist. Die Procentzahlen zwischen Tag und Nacht (Tabelle Nr. II) zeigen sowohl für die Kohlensäure-, Wasser- und Harnstoffausscheidung als auch für die Sauerstoffaufnahme kaum eine Aenderung. Bei keinem sonstigen Ruheversuche tritt dieser Rhythmus und ein so regelmässiger Parallelismus auf; die Zahlen sind sich gleich, mit einer kleinen Ausnahme beim Sauerstoff, wo sich am Tage eine kleine Verschiebung als Aufspeicherung zeigt. Die Stoffwechselgleichung aus allen Einnahmen und Ausgaben, die ich hier nicht mittheilen will, ergibt für diesen Versuch, dass überhaupt 140 Gramm Sauerstoff mehr aufgenommen, als verwendet worden sind. Der Versuch XIII, der nur 12 Stunden dauerte und sich unmittelbar an XII anschloss, ist eine Fortsetzung von diesem und kann zur Controle dienen. Wenn es gestattet wäre, von unsern Erfahrungen am Hunde auf den Menschen zu schliessen, so würde ich

behaupten, dass bei längerem Fortgenuss dieser Kost die Sauerstoffaufnahme sich verringert hätte; denn beim Hunde haben Voit und ich regelmässig gefunden, dass eine wesentliche Veränderung in der Zusammensetzung der Kost am ersten Tage, wo sie genossen wurde, meist eine verhältnissmässige oft sehr beträchtliche Erhöhung der Sauerstoffzahl hervorrief, die sich dann bei längerer Dauer der Fütterungsreihe wieder erniedrigte. Es wurden z. B. bei einer Fütterung mit Fleisch und Stärke vom Hunde anfangs 399 Gramm Sauerstoff aufgenommen, dann bei 14 Tage lang fortgesetzter Fütterung damit, während welcher Zeit das Thier noch 3 Tage im Respirationsapparate zubraehte, nur mehr 265, 262 und 282. Man ging nun auf Fleisch und Zucker über, und der Hund nahm am 1. Tage 369, am 4. Tage 216, am 7. Tage 234, am 10. Tage 202 Gramm Sauerstoff auf. Womit das zusammenhängt, konnten wir bisher nicht ergründen.

Was das relative Verhältniss der Harnstoffausscheidung bei Tag und Nacht betrifft, habe ich nur noch wenige Worte zu sagen. Bei den Versuchen V und VIII im vorigen Sommer hat der Harnstoff stets den der Nacht überwogen $\left(\frac{58}{42}\text{ und }\frac{54}{46}\right)$. Mit Ausnahme der Versuche I, III und XII tritt dieses Verhältniss nie mehr in dem Grade hervor, ja die Versuche IV, X, XI und XIV zeigen sogar ein umgekehrtes Verhältniss. Streng genommen sind von den Versuchen im Winter nur VI, VII und IX mit den Versuchen im Sommer V und VIII vergleichbar, weil nur bei diesen die gleiche Kost genossen wurde und da ergibt sich für VI, VII und IX annähernd Gleichheit, $\frac{50}{50}$, $\frac{51}{49}$ und $\frac{51}{49}$. Warum sich der Mann Nr. I auch bezüglich der Harnstoffausscheidung in den beiden Tageshälften im Dezember anders als im Juli und August verhielt, vermag ich nicht zu entschei-

den, und überlasse es der Fortsetzung der Versuche und Beobachtungen.

Auf einen Umstand verdient noch besonders aufmerksam gemacht zu werden, dass nämlich bei den drei Arbeitsversuchen (IV, VIII und IX) auch am Tage während der Arbeit durchschnittlich nicht mehr Harnstoff ausgeschieden wird, als in der darauf folgenden Zeit der Ruhe und des Schlafes, was den Satz von Voit neuerdings bestätiget, dass auch nicht einmal vorübergehend während der Arbeit mehr Eiweiss zersetzt werde, als in der Ruhe.